

## **Offre de stage Master 2**

### **Détection d'anomalies (temps-fréquences) dans les signaux photovoltaïques**

Type de contrat : Stage de Master 2

Durée : 6 mois

Lieu : Perpignan, France

Date de début : Février ou mars 2026

Gratification : selon la tarification en vigueur (environ 600 euros/mois)

## **Contexte**

L'énergie photovoltaïque (PV), produite à partir du rayonnement solaire, est aujourd'hui un pilier incontournable de la transition énergétique. Son déploiement rapide et massif dans le monde s'accompagne toutefois de nouveaux défis : les pannes des modules PV, souvent imprévisibles, provoquent des pertes de production, dégradent le rendement des centrales et augmentent les coûts d'exploitation. D'où la nécessité de stratégies de maintenance intelligentes, prédictives et frugales.

De nombreuses approches ont été proposées pour détecter ou anticiper ces défauts. Les inspections visuelles, les images infrarouges ou électroluminescentes, ou encore l'analyse des courbes I-V restent des pratiques courantes. Toutefois, elles nécessitent souvent l'arrêt du système, des équipements supplémentaires et une intervention humaine difficile à automatiser à grande échelle [1]. De plus, certaines défaillances ne présentent aucun symptôme visuel détectable [2]. D'autres approches proposent d'installer des capteurs dédiés à la maintenance. Ces stratégies, bien qu'efficaces, engendrent des coûts élevés, surtout dans les grandes centrales comportant des milliers de panneaux. Par ailleurs, elles posent des questions de transférabilité et de normalisation, comme discuté dans plusieurs revues de la littérature sur le diagnostic PV basé sur l'IA [3].

L'objectif principal de ce stage est d'étudier des approches frugales et innovantes pour la détection d'anomalies, en exploitant exclusivement les données déjà disponibles dans les onduleurs photovoltaïques – typiquement la tension, le courant et la puissance au cours du temps. Ces signaux contiennent des signatures riches permettant d'identifier des comportements anormaux sans instrumentation additionnelle [4]. La plupart des méthodes actuelles appliquées à ces signaux reposent sur des modèles statistiques ou des réseaux de neurones entraînés sur des caractéristiques globales des séries temporelles (moyenne, variance, etc.) [1]. Cela engendre une perte d'information et une faible interprétabilité, freinant leur adoption industrielle [2].

Pour dépasser ces limites, nous proposons de considérer ces signaux comme des objets fonctionnels complets – une approche inspirée de l'analyse de données fonctionnelles. Cela permet de travailler directement sur la forme continue des signaux, indépendamment de leur résolution, tout en conservant l'intégralité de l'information temporelle [5]. Le stage explorera des représentations temps-fréquence et des outils issus de l'analyse de données fonctionnelles afin de proposer une méthode de détection à la fois explicable et économiquement viable.

## Plan de travail du stage

Le stage sera structuré selon les étapes suivantes :

1. Une revue de littérature détaillée sur les méthodes existantes pour la détection d'anomalies. Une attention particulière sera portée sur les approches de statistique fonctionnelle [6].
2. Une étude de la caractérisation en temps-fréquence des anomalies d'intérêt sur les signaux photovoltaïques et leur intégration dans les méthodologies fonctionnelles. Deux pistes seront explorées : la décomposition en bandes de fréquence d'intérêt, et l'utilisation de spectrogrammes.
3. La proposition d'une nouvelle approche pour détecter les anomalies d'intérêt dans les signaux photovoltaïques, sur la base des deux précédentes étapes. Pour des questions de frugalité et d'interprétabilité, nous privilégierons des méthodes linéaires fonctionnelles. La nouvelle méthode sera ensuite implémentée en R/Python pour des expériences numériques sur des données réelles et simulées.
4. La participation à l'écriture d'une courte publication scientifique (ou un rapport public) pour partager les résultats du stage. Cette publication sera accompagnée d'un répertoire Github en open-access, qui proposera l'implémentation de la méthode.

## Profil recherché et compétences

Nous cherchons un·e étudiant·e :

- en Master 2 ou en école d'ingénieur avec comme spécialité : mathématiques appliquées, statistique, data-science ou éventuellement informatique avec une appétence pour l'apprentissage statistique ;
- motivé·e pour appliquer des méthodes statistiques frugales à des problématiques d'écologie et de développement durable ;
- possédant de bonnes compétences (idéalement une expérience) en programmation avec les langages R et/ou Python.

## Aspects pratiques

Le stage se déroulera au LAMPS, sur le Campus du Moulin-à-Vent (Avenue Paul Alduy, Perpignan), sous la supervision de Issam Moindjié (LAMPS) et Edgar H. Sepulveda Oviedo (PROMES). Le/la stagiaire bénéficiera d'un encadrement pluridisciplinaire, combinant statistique fonctionnelle (LAMPS) et supervision de systèmes solaires (PROMES). Cette collaboration permettra d'aborder le projet à la fois sous un angle théorique et applicatif, en lien direct avec les enjeux de la transition énergétique.

## Candidature

Les candidat·e·s intéressé·e·s peuvent postuler en envoyant leur CV et leur lettre de motivation aux deux encadrants :

- [issam-ali.moindjie@univ-perp.fr](mailto:issam-ali.moindjie@univ-perp.fr)
- [edgar-hernando.sepulveda-oviedo@univ-perp.fr](mailto:edgar-hernando.sepulveda-oviedo@univ-perp.fr)

**Les candidatures seront examinées au fil de l'eau.**

## Références

- [1] Sepúlveda-Oviedo, Edgar Hernando, et al. "Fault diagnosis of photovoltaic systems using artificial intelligence: A bibliometric approach". *Heliyon* 9.11 (2023).
- [2] Sepúlveda-Oviedo, Edgar Hernando, et al. "An ensemble learning framework for snail trail fault detection and diagnosis in photovoltaic modules." *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 137 (2024): 109068.
- [3] Sepúlveda-Oviedo, Edgar Hernando, et al. "Artificial intelligence in photovoltaic fault diagnosis: A natural language-based Topic-tSNE fusion analysis". *Energy and AI*. (2025).
- [4] Sepúlveda-Oviedo, Edgar Hernando, et al. "Feature extraction and health status prediction in PV systems". *Advanced Engineering Informatics*. (2022)
- [5] Marron, James Stephen, et al. "Functional data analysis of amplitude and phase variation." *Statistical Science* (2015): 468-484.
- [6] Moindjié, Issam-Ali, Sophie Dabo-Niang, and Cristian Preda. "Classification of multivariate functional data on different domains with partial least squares approaches." *Statistics and Computing* 34.1 (2024): 5.
- [7] Moindjié, Issam-Ali. *Modèles linéaires pour données fonctionnelles multivariées*. Diss. Université de Lille, 2023.